

# Non-invasive arterial wall tissue characterization : development and evaluation of narrowband ultrasound techniques

Citation for published version (APA):

Linssen, F. M. J. (1992). *Non-invasive arterial wall tissue characterization : development and evaluation of narrowband ultrasound techniques*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19920326fl>

## Document status and date:

Published: 01/01/1992

## DOI:

[10.26481/dis.19920326fl](https://doi.org/10.26481/dis.19920326fl)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

### Summary

Atherosclerosis is a disease that initially affects only the structures and composition of the tissues within the vessel wall. The local blood flow distribution is not notably disturbed by these changes in the vessel wall. Also, minor changes in the composition do not necessarily result in changes of the mechanical properties of the vessel. Therefore, evaluation of blood flow patterns or measurement of vessel wall motion do not give specific information about early stages of atherosclerosis (chapter 1).

Because it is possible to distinguish different types of tissue because of their acoustical properties, determination of the acoustical properties of the tissue within the vessel wall may give more and direct information about the early stages of atherosclerosis. There are several methods available from literature for tissue characterization (chapter 2). A problem generally observed in making longitudinal B-mode images of arteries is that the image depends on the orientation of the transducer. It is difficult to obtain an image in which the different layers of the vessel are clearly visible, both in the region of the anterior and the back wall. Even if different layers are visible, it is not along the entire length of the artery. This problem is caused by the interaction of the ultrasound beam and the (cylindrical) shape of the interfaces between the different tissue layers in the vessel wall as was investigated in chapters 3 and 4.

In order to make realistic simulations of the sound field of a transducer, it was necessary to develop a method to determine the parameters of a transducer from sound field measurements. In chapter 3 a method is presented by which it is possible to derive the Surface Velocity Amplitude Distribution (SVAD) on the surface of a circular focussed transducer. The SVAD and other parameters are determined from simple sound pressure measurements. A Kalman filter is used as parameter estimation algorithm because it allows easy control of the estimation procedure.

The sound field and the geometry and position of a reflecting surface determine the deformation of an acoustic pulse upon reflection by that surface. An impulse ray model is used to calculate the impulse response or Radiation Coupling Function (RCF) of a reflector in the acoustical field of an ultrasonic transducer (chapter 4). It appeared that the RCF of a cylindrical reflector (vessel wall) in the near field of a transducer highly depends on the radius and position of the reflector. The result is that a broadband pulse is severely distorted after reflection at a tissue interface. Because in practice the geometry of reflecting structures is not known, this distortion can not be corrected, but it is found that the deformations are less severe if the reflecting surface is in the far field of the transducer.

Because broadband signals suffer from signal distortions and a poor spectral Signal to Noise Ratio (SNR), a new method for investigating the frequency dependence of the acoustic properties of a (thin-layered) tissue is proposed in chapter 5. By emitting narrowband pulses with different center emission frequencies at a high Pulse Repetition Frequency (PRF), it is possible to assess the frequency

dependence of acoustic parameters of a tissue. This NarrowBand Multi-Frequency (NBMF) method involves ordinary Wiener-inverse filtering of the individual RF-lines to restore the loss in resolution due to the long duration of narrowband signals. Because of the narrowband character of the pulses, however, artefacts arise in the Wiener-inverse filtered signals. By correlating the deconvolution result of a narrowband RF-line with the deconvolution result from a RF-line received upon emission of a longer pulse at the same frequency, these artefacts are suppressed. The resolution of the resulting signals is within the limits given by the systems impulse response and therefore similar to the resolution obtained using broadband ultrasound signals.

The quantitative accuracy of the Wiener-inverse filter method is limited if the electrical excitation waveforms, which are used as deconvolution signals, are distorted due to a relatively narrowband system transfer function. Variations in peak amplitude values up to 10% are found even in computer simulated signals. Therefore it was investigated whether the use of knowledge about the system transfer function can improve the accuracy and resolution (chapter 6). It appeared that the use of spectral amplitude information results in a more uniform resolution for a wide range of center frequencies. If the phase of the transfer function is a smooth function of frequency (for realistic systems almost always true), knowledge of the phase does not improve the resolution (measured as the width of the main peaks at half maximum), but only influences the position of the peaks.

Finally, in chapter 7 the NBMF method is used to assess data from the common carotid arteries of young volunteers and patients from the neurological clinic. Although the method results in frequency specific B-mode images, the problems with the visibility of the different layers are the same as in conventional images. By comparing the average value of the envelope of the deconvolved signals in two tissue regions an estimate of the overall attenuation at a specific frequency between two tissue regions is obtained. Repeating this procedure for different frequencies results in the assessment of the frequency dependence of the attenuation. Clear differences in overall attenuation were found if the results for the different groups are averaged. However, there is a large intra-individual variance in the results, which is probably caused by mis-alignment of the transducer and the artery.

The intra-individual variation may be reduced if the data processing can be performed in real-time. Also, the visualization of the artery on the conventional B-mode image must be improved. It is then possible to reduce the mis-alignment of the artery and the transducer. Acquisition of data synchronous with the cardiac cycle can further reduce the variations in the results. Combination of attenuation values with measurement of the thickness of the vessel wall and assessment of the mechanical behaviour of the vessel can then result in characterization of vessel wall tissue. This will facilitate investigation of the early stages of atherosclerosis and eventually in improved diagnosis. The use of either method alone can not result in the desired information about the composition of the arterial wall.

---

## SAMENVATTING

Zowel de bloedstroming als ook het mechanisch gedrag van het bloedvat kunnen worden bestudeerd gebruikmakend van ultrageluid. Ultrageluid is niet belastend voor de patient omdat er alleen maar een ultrageluidstransducent op de huid moet worden geplaatst. Verder worden er alleen onschadelijke geluidsgolven uitgezonden (geen röntgenstraling etc.). Ultrageluid wordt veel gebruikt om vernauwingen t.g.v. atherosclerose (in de volksmond aderverkalking genoemd) op te sporen door middel van detectie van verstoringen van het bloedstroom profiel. Meer recentelijk is het ook mogelijk geworden om de beweging van de bloedvatwanden ten gevolge van de pulserende bloeddruk waar te nemen. Echter, de eerste stadia van atherosclerose worden voornamelijk gekenmerkt door veranderingen in de samenstelling van de bloedvatwand. Plaatselijke lesies (atherosclerotische afwijkingen van de wand) die een gedeelte van het bloedvat afsluiten zijn op dat moment nog niet tot ontwikkeling gekomen en daarom zijn er nog geen eenduidige verstoringen van het bloedstroom profiel waarneembaar. Ook de elasticiteit van de wand, die kan worden bepaald door meting van de diameterverandering als functie van de pulserende bloed-druk, geeft geen directe aanwijzingen voor de aanwezigheid van veranderingen in de samenstelling van de bloedvatwand. Vandaar ook dat er in dit proefschrift getracht is een methode te ontwikkelen om d.m.v. analyse van de ontvangen ul-trageluidspulsen meer te weten te komen over veranderingen in samenstelling van de bloedvatwand: weefselkarakterisering m.b.v. ultrageluid (hoofdstuk 1). Een bloedvat dat heel goed kan worden onderzocht omdat het dicht onder de huid ligt, is de gemeenschappelijke halsslagader (carotis communis).

Weefselkarakterisering m.b.v. ultrageluid is al bekend voor het opsporen van afwijkingen in grote organen zoals de lever en de milt (tumoren, hepatitis, levercirrose). Ook in het oog kan men verschillende typen weefsel op die manier onderscheiden. De verzwakking van ultrageluidspulsen door weefsels is afhankelijk van de frequentie van het geluid. Deze frequentie afhankelijkheid is op haar beurt weer typerend voor verschillende weefsels of afwijking van het normale weefsel (tumoren, vet- en collageenophoping etc.). Bij de analyse van de signalen van een bloedvatwand, heeft men echter niet te maken met signalen die over een grote diepte hetzelfde karakter hebben, maar men moet het stellen met een beperkt aantal reflecties van de verschillende overgangen tussen de lagen van een bloedvatwand (zie figuur 1.2). De manier waarop in dit proefschrift ultrageluidssignalen wiskundig worden beschreven kan men vinden in hoofdstuk 2. Het probleem van gereflecteerde ultrageluidssignalen, is dat de sterkte van de reflectie afhankelijk is van de positie en de vorm van het reflecterende vat in de ultrageluidsbundel. Deze verschijnselen zijn onderzocht in de hoofdstukken 3 en 4. In hoofdstuk 3 werd daartoe een methode beschreven waarmee het mogelijk is om de parameters, die het geluidsveld van een transducent bepalen, te schatten uit metingen van de sterkte van het ultrageluidsveld in een proefopstelling in een waterbak. De parameters die op deze manier werden bepaald werden in hoofdstuk 4 gebruikt in het model waarmee de vervorming van een ultrageluidspuls na reflectie op een oppervlak kan worden

afgeschat. Uit de resultaten van hoofdstuk 4 blijkt dat de vervorming van ultrageluidspulsen het minst erg is als de reflector (bloedvatwand) zich in het verre veld van de transducent bevindt. Ook is de vormverandering van zgn. smalbandige pulsen (landurige pulsen met 1 centrale frequentie) veel minder dan die van breedbandige (korte) pulsen.

Mede daarom, en omdat de verhouding tussen de sterkte van het zuivere signaal en de verstoringen (ruis) veel beter is voor smalbandige pulsen is in dit proefschrift (hoofdstuk 5) voorgesteld om, in plaats van de gebruikelijke breedbandige korte puls, een aantal pulsen uit te zenden, die ieder een verschillende frequentie hebben. Deze pulsen hebben een lange duur, wat echter tot gevolg heeft dat het niet meer mogelijk is om structuren die dicht bij elkaar liggen te onderscheiden. Dit probleem kan worden opgelost door middel van deconvolutie van de ontvangen signalen. Deconvolutie betekent in feite dat men probeert uit te vinden waar de verschillende reflectoren (weefsellagen) zich bevinden die het waargenomen signaal hebben veroorzaakt, en ook hoe sterk de reflectie van de verschillende weefsellagen is. Hiervoor bestaat een zeer eenvoudige methode, genaamd Wiener-inverse filtering, die echter bij gebruik van smalbandige (langdurige) signalen leidt tot artefacten. Er verschijnen "reflectoren" in het gedeconvolueerde signaal die er in werkelijkheid niet zijn. Door ook de resultaten te gebruiken van een uitgezonden puls die iets langer of korter van duur is, kan men de artefacten van het echte signaal onderscheiden en ook onderdrukken.

Bij de resultaten van hoofdstuk 5, waarin gebruik was gemaakt van op de computer nagebootste signalen, bleek al dat het negeren van de karakteristiek van het ultrageluidssysteem leidt tot fouten. Deze blijken te kunnen worden vermindert indien met op de hoogte is van de zogenaamde overdrachtsfunctie van het ultrageluidssysteem (hoofdstuk 6).

In hoofdstuk 7 tenslotte werd de methode getest op 4 jongere mensen en 4 oudere mensen. Deze laatsten ware patienten van de afdeling Neurologie van het AZM in Maastricht. Van deze mensen kon worden verwacht dat er veranderingen in de samenstelling van de bloedvatwand aanwezig zijn. Uit de resultaten bleek inderdaad, dat de frequentie afhankelijke verzwakking gemiddeld genomen flink verschilde tussen de jonge en de oudere personen. Het bleek echter ook, dat de waarden voor een en dezelfde persoon flinke variaties vertoonden. Dit ligt waarschijnlijk aan de effecten zoals die berekend werden in hoofdstuk 4: de waargenomen sterkte van een reflectie is sterk afhankelijk van de vorm en plaats van de weefsellagen van de bloedvatwand. Verder werd in hoofdstuk 7 aangetoond dat de beelden die men na bewerking van smalbandige pulsen kan maken niet in kwaliteit onderdoen voor de gebruikelijke beelden die worden verkregen na uitzending van korte pulsen. Omdat de beelden echter frequentie-specifiek zijn, kan deze techniek mogelijk leiden tot verbetering van de weefselkarakterisering in grote organen.

Verskillende voor- en nadelen van de in dit proefschrift beschreven methoden en technieken werden besproken in hoofdstuk 8. Daar worden ook aanbeve-

lingen gedaan om de variatie in de gemeten verzwakkingswaarden te reduceren. Indien de beeldkwaliteit van de conventionele scanner wordt verbeterd, kleine transducenten worden gebruikt, en als de metingen vele malen worden herhaald op hetzelfde moment van de hartcyclus, kan de in dit proefschrift beschreven methode bijdragen tot het onderzoek van de vroege stadia van atherosclerotische afwijkingen en de mogelijke invloed van diverse risicofactoren of het ontstaan van afwijkingen in de boedvatwand. Samen met de resultaten van metingen van de mechanische eigenschappen en de dikte van de vaatwand, kan de beschreven methode mogelijk ook leiden tot vroegtijdiger diagnose.

## PUBLICATIES

F.M.J. Linssen and A.P.G. Hoeks

Transducer characterization from pressure amplitude distribution measurements using a Kalman filter as parameter estimation algorithm.

*Ultrasonic Imaging* 12 (1990) 309-323

Frans Linssen and Arnold Hoeks

Computation of the signal distortion of reflections from specular reflectors by impulse ray modeling.

*Journal of the Acoustical Society of America* (accepted for publication)

F.M.J. Linssen, A.P.G. Hoeks and P.J. Brands

The use of narrowband ultrasound in the characterization of tissue in a thin layer.

*Phys. Med. Biol.* 36 (1991) 1319-1330

F.M.J. Linssen and A.P.G. Hoeks

Multi-frequency narrowband tissue characterization

*Proceedings of the IEEE 1990 Ultrasonics Symposium*